UNTERSUCHUNGEN

über die relative

Wachsthumsgeschwindigkeit der Pflanzen in kurzen Zeiträumen.

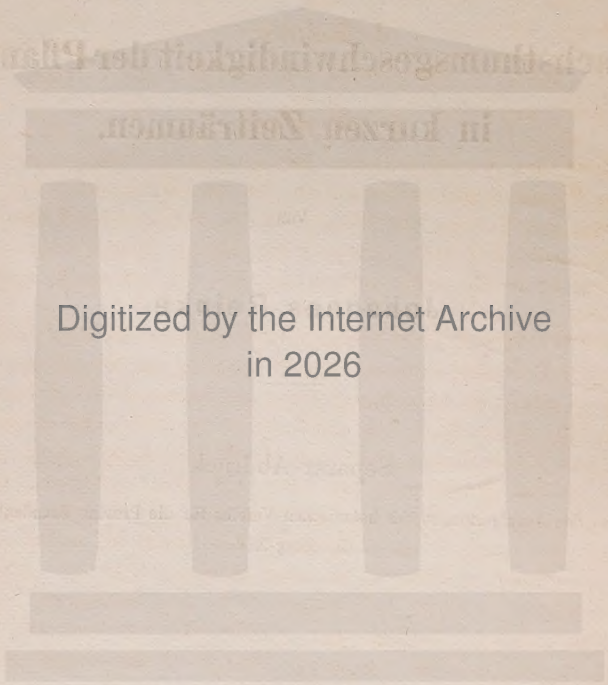
Von

Johannes Reinke.

Separat-Abdruck

aus den Verhandlungen des botanischen Vereins für die Provinz Brandenburg.
Jahrgang XIV.

Druck von Carl Hermann Müller in Berlin.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553622_0282

Untersuchungen über die relative Geschwindigkeit des Längenwachsthums der Pflanzen in kurzen Zeiträumen.

Von

J. Reinke.

(Mit einer Steindrucktafel.)

1. Allgemeines.

Unter den eigenthümlichen Bewegungserscheinungen, welche wir im Pflanzenreiche wahrnehmen, ist das Wachsthum, die Erweiterung des Volums der Pflanze, die hervorragendste; dasselbe verdient unsere Beachtung um so mehr, als wir über die Mechanik desselben noch sehr wenig unterrichtet sind, sondern uns hier einem fast völlig unbebauten Felde gegenüber finden.

Das Wachsthum eines Pflanzentheils gliedert sich stets in zwei gesonderte Processe: entweder beruht dasselbe auf Neubildung von Zellen — oder auf Ausdehnung einer bereits vorhandenen Summe von Zellen, deren Zahl sich dabei nicht vermehrt. Bei niederen Algen und Pilzen lassen sich beide Wachsthumsformen nicht mehr scharf auseinander halten; oft fallen sie völlig zusammen, wenn das Individuum aus nur einer Zelle besteht. Die erstere Art des Wachsthums, durch Neubildung von Zellen, findet bei den meisten zusammengesetzten Pflanzen an ganz bestimmten Orten — Vegetationspunkten — statt; bei einigen, z. B. den *Spirogyren*, ist sie über den ganzen Pflanzenkörper gleichmässig vertheilt und entspricht in diesem Falle das ganze vegetative Individuum einem Vegetationspunkte der höheren Pflanzen.

Der Körper der höheren Gewächse ist in der Regel nach einer Richtung vorwiegend ausgedehnt. Die Verlängerung in dieser Richtung nennen wir daher Längenwachsthum, die Erweiterung in den dazu senkrechten Richtungen Dickenwachsthum. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich diese Ausdehnungen des Pflanzenkörpers vollziehen, können wir als Wachsthumsintensität bezeichnen und dann sowohl von einer Intensität des Längenwachsthums, als auch des Dickenwachsthums eines Gliedes sprechen.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass die Geschwindigkeit des Längenwachsthums eines Pflanzensprosses in hervorragender Weise durch äussere Agentien, wie den Grad der Beleuchtung, der Temperatur, der Bodenfeuchtigkeit bedingt wird. Wir wissen, dass — unter der Voraussetzung der sonstigen Lebensbedingungen — Dunkelheit das Längenwachsthum eines Pflanzenstengels mächtig fördert, dass bei gleicher Beschaffenheit, gleicher Feuchtigkeit des Bodens und gleicher Temperatur ein Individunm, welches wohl beleuchtet wird, in gegebener Zeit viel kürzer bleibt, als ein anderes, das in tiefer Dunkelheit stand, während freilich die Entwickelung der Blätter ein umgekehrtes Verhältniss zu zeigen pflegt. Wir wissen ferner, dass bei gleicher Beleuchtung eine Pflanze am raschesten wächst bei einer ganz bestimmten Temperaturhöhe, langsamer sowohl bei einer höheren, wie niedrigeren Temperatur. Diese Thatsachen führen zu dem Schlusse, dass, wenn man die Wirkung dieser äusseren Agentien, wie Licht, Wärme, Feuchtigkeit, constant erhielte, in Bezug auf Schwankungen also neutralisirte, die Wachsthumsbewegung uns in einer davon unabhängigen, eigenthümlichen Form erscheinen, in einer specifischen Gestalt sich zeigen würde.

2. Die bisherigen Kenntnisse von der Wachsthumsgeschwindigkeit.

Es fehlt in der Litteratur nicht an Versuchen, welche das Ziel anstreben, die relative Geschwindigkeit des Wachsthums zu bestimmen. Die Mehrzahl derselben bringt jedoch keine einigermassen genügende Behandlung des Gegenstandes, geschweige denn eine Erledigung desselben; man begnügt sich in der Regel mit Beobachtungen über die Verlängerung von Pflanzentheilen innerhalb grösserer Zeiträume, wodurch zwar Mittelwerthe erhalten werden, die jedoch zur Beantwortung der hier gestellten Frage nicht hinreichen.

Die neueste dieser Arbeiten, auf welche wir hier des Raumes wegen allein näher eingehen, ist von Rauwenhoff*); es finden sich dort auch erwähnt frühere, den Gegenstand betreffende Untersuchungen von Ventenat, Meyer, Meyen, Münter, Harting, de Vriese, Duchartre, Mulder, Martins, Teyssmann, Weiss, die sich jedoch alle auf einzelne Specialfälle beschränken und wesentlich die Frage erörtern, ob das Längenwachsthum einer Pflanze bei Tage grösser sei, als bei der Nacht.

*) Rauwenhoff, Waarnemingen over den Groei van den Plantenstengel. Amsterdam 1867.

Das Resultat dieser Untersuchungen ist, dass ein Theil der Autoren das Maximum der Wachsthumsintensität auf den Tag, die übrigen in die Nacht verlegen, — eine Frage, welche in dieser Gestalt schon ausserhalb des Kreises unserer Betrachtungen fällt. Teyssmann, de Vriese und Weiss endlich nehmen einen periodischen Wechsel dieses Verhältnisses an, namentlich Weiss (in Karsten, Botanische Untersuchungen, Heft II. pag. 129 bis 142) in Folge von Messungen eines in Streckung begriffenen Blüthenschaftes von *Agave Jacquiniana* im botanischen Garten zu Lemberg. Er mass denselben 3mal in je 24 Stunden, vom 3. April bis 25. Mai. Weiss unterscheidet nach seinen Beobachtungen 6 Perioden:

1. Per. 3.—12. April: Stärkstes Wachsthum Nachts,
2. Per. 12.—22. April: St. W. am Nachmittag,
3. Per. 22.—29. April: St. W. am Morgen,
4. Per. 29. April — 6. Mai: St. W. in der Nacht,
5. Per. 6.—19. Mai: St. W. am Morgen,
6. Per. 19.—26. Mai: St. W. in der Nacht.

Rauwenhoff stellte ähnliche Messungen an, und zwar an *Bryonia dioica*, *Vitis orientalis*, *Wistaria chinensis* und *Cucurbita Pepo*. Alle standen draussen im freien Lande, die beiden ersten an Ostwänden, *Wistaria* an einer Westwand und *Cucurbita* lag auf dem Boden. Die Resultate, welche Rauwenhoff aus diesen seinen Beobachtungen zieht, sind folgende:

1. Wenn man auf die allgemeinen Resultate*) der Messungen sieht, findet man überall einen stärkeren Zuwachs am Tage, als des Nachts.

2. Es giebt Zeiten, wo der nächtliche Zuwachs überwiegt; so vom 18. bis 20. Juni, vom 2. bis 9. Juli; desgleichen kommen Perioden von bei Tag und Nacht gleichem Wachsthume vor.

3. Wenn man den Längenzuwachs über Tage in den Morgenstunden mit dem am Nachmittage vergleicht, so findet man, dass bei allen untersuchten Pflanzen der letztere den ersteren übertrifft. Das Verhältniss war bei *Bryonia* wie 1 : 0,67, bei *Cucurbita* wie 1 : 0,79 bis 0,81.

4. Die absolute Wachsthumsgeschwindigkeit ist bei allen untersuchten Pflanzen verschieden; man findet, dass bei jeder Pflanze die Intensität erst wächst, dann ein Maximum erreicht, auf dieser Höhe eine Zeitlang bleibt, um dann allmälig auf den Nullpunkt zu sinken.

---

*) Soll wohl so viel heissen, als Durchschnitt.

5. Vergleichen wir die Temperaturschwankungen mit der Wachsthumsintensität, so finden wir in der Regel, dass Steigen und Fallen der Temperatur mit der Zu- und Abnahme der Wachsthumsgeschwindigkeit gepaart gehen.*)

3. Methode der Untersuchung.

Sachs ist der Erste, welcher eine brauchbare Methode angegeben hat zur Bestimmung der relativen Geschwindigkeit des Längenwachsthums, wie es sich unabhängig vom Einflusse des Wechsels von Licht, Temperatur und Feuchtigkeit darstellt, zugleich auch zur Bestimmung, wie der Einfluss je eines dieser Agentien auf die Wachsthumserscheinungen einwirkt.

Dieselbe beruht darauf, die Verlängerung eines Pflanzengliedes in kurzen Zeiträumen zu messen, während Temperatur, Beleuchtung u. s. w. längere Zeit hindurch keiner merklichen Veränderung unterliegen oder die Schwankungen derartig sind, dass sie mit Leichtigkeit in Rechnung gebracht werden können. Zum Messen dient ein von Sachs construirter, sinnreicher Apparat, dessen Zusammen setzung nebst Abbildung derselbe in seinem Lehrbuche (2. Auflage, pag. 632.) publicirt hat. Da diese Figur allgemein verbreitet ist, so sei einfach darauf verwiesen.

Herr Professor Sachs hatte sich durch eine Reihe vorläufiger Versuche davon überzeugt, dass die Intensität des Längenwachsthums keineswegs eine gleichförmige Bewegung sei; der Zuwachs eines Pflanzenstengels zeigte in gleichen Zeiträumen grosse Verschiedenheit und zwar keine regellose, sondern eine regelmässige, periodisch wiederkehrende Steigerung und Minderung der Intensität. Diese interessante Thatsache durch eine grössere Reihe von Beobachtungen genauer festzustellen und zu begründen, dazu ward ich von Herrn Professor Sachs angeregt und sollen die nachfolgenden Blätter einige kurze Mittheilungen über die dabei gewonnenen Resultate bringen, welche noch sehr der Vervollständigung bedürfen, da ich leider durch die Kriegsereignisse in meinen Arbeiten unterbrochen ward.

Ich begann meine Untersuchungen Ende April und setzte sie bis zum 14. Juli 1870 Tag für Tag fort; es ward mit einer Reihe

---

*) Ueber die inzwischen erschienene grössere Arbeit von Sachs vergl. die Schlussbemerkung. Bei Sachs findet sich auch eine Besprechung der oben unerwähnt gelassenenen Arbeit Caspary's in Flora 1856.

verschiedener Species experimentirt und eine grosse Anzahl von Masszahlen gewonnen.

Die Pflanzen, welche ich zu den Versuchen verwandte, wurden in Töpfen aus Samen oder aus Zwiebeln und Knollen gezogen, am längsten wurden *Phaseolus vulgaris*, sowie *Dahlia variabilis* und *Allium Cepa* beobachtet; im letzteren Falle diente nicht der Stengel, sondern die stark in die Länge wachsenden Blätter als Versuchsobject.

Bei Beobachtungen dieser Art misst man in der Regel nur die Intensität des Wachshums, soweit dieses auf Streckung bereits angelegter Gewebemassen beruht; man misst die Geschwindigkeit der Ortsbewegung desjenigen Punktes, in welchem der Pflanzentheil mit dem auxanometrischen Apparate in Verbindung steht.

Damit die Fehler des Experimentes so gering wie möglich werden, muss der Apparat sowohl, wie der Topf in einem Zimmer sich befinden, welches den Tag über annähernd gleichmässige Temperatur, Feuchtigkeit der Luft und gleichmässig von verschiedenen Seiten einfallendes Licht besitzt; dies genügt, wenn man nur während der Tagesstunden beobachten will; soll dagegen die Untersuchung auch die Nacht umfassen, so ist es unerlässlich, um mit gleichen Lichtbedingnngen zu arbeiten, die Pflanze zu verdunkeln. Man bewerkstelligt dies am Besten, indem man dieselbe mit einem Mantel von Zinnfolie umgiebt, so dass nur ein kleines Loch für den Aufhängefaden übrig bleibt; dieser Mantel muss die Pflanze in beständiger Dunkelheit halten und ihr doch freien Raum zur Entfaltung gewähren. Die gleiche Vorrichtung ist nothwendig in einem Gemache mit ungleichmässiger Beleuchtung, um die störendeu Wirkungen des Heliotropismus zu eliminiren.

Bei jedem Versuche hat man in erster Linie den Apparat zu revidiren, um alle Fehler, die aus Reibungen etc. entstehen könnten, zu vermeiden. Alsdann wird der Topf mit der zu untersuchenden Pflanze möglichst fest auf den Tisch gestellt, um durch Schwankungen bei Erschütterungen keine Störungen zu erleiden. Die Erde muss fortwährend derartig mit Wasser gesättigt sein, dass den Wurzeln wenigstens eine völlig genügende Quantität zum Verarbeiten zur Verfügung steht, auf welche Weise nur allein die Bodenfeuchtigkeit gleichmässig zu erhalten ist. Dann wird ein Thermometer in den Erdboden eingesenkt, ein anderes in der Luft dicht neben der Pflanze aufgehängt. Das Erdthermometer ist aber ziemlich überflüssig, indem die Erde des Topfes, wenn die Pflanze längere Zeit in dem Raume gestanden, eine fast immer mit der Luft identische Temperatur besitzt.

Hat man endlich den Haken des Aufhängefadens durch den betreffenden Spross oder Blatt gestochen, so dass die Wachsthumsaxe desselben und der Aufhängefaden eine lothrechte Linie bilden, und hat man den Zeiger eingestellt, so ist die weitere Beobachtung ungemein leicht.

Es handelt sich bei der vorliegenden Frage nicht um die absolute, sondern nur um die relative Wachsthumsgeschwindigkeit; man hat demnach nur in der bestimmten Zeit, z. B. halbstündlich oder viertelstündlich, den Stand des Zeigers zu notiren; die Differenz zweier solcher Zahlen giebt den relativen Zuwachs der Pflanze innerhalb des gegebenen Zeittheils an; die absolute Verlängerung, d. h. der Zuwachs in Millimetern ausgedrückt, lässt sich leicht berechnen, wenn man die Länge der beiden Hebelarme kennt. Ausserdem hat man im Beobachtungsjournal die Temperatur zu notiren; zeigt dieselbe ungewöhnliche Schwankungen, so lässt sich leicht ermitteln, ob dieselben mit den Schwankungen der Wachsthumsintensität correspondiren, wenn man auf Coordinatenpapier die betreffende Wärmecurve construirt. Die Schwankungen des Barometerstandes innerhalb eines Tages, welche bei einer Reihe von Beobachtungen berücksichtigt wurden, ergaben keine Relation zu den Aenderungen der Wachsthumsintensität; doch würden Versuche in dieser Richtung, nicht ohne Interesse sein.

Indem man so im Stande ist, den Einfluss den Schwankungen des Lichtes, der Wärme, der Feuchtigkeit mit ziemlicher Genauigkeit zu controlliren, respective zu beseitigen, bleibt noch eine Fehlerquelle offen, welcher leider schwierig zu begegnen ist und welche häufig genug den Versuch zerstört. Dieselbe ist gerade bei den Pflanzen, welche vermöge ihres schnellen Wachsthums besonders zu Versuchen geeignet sind, am Erheblichsten und beruht auf den sogenannten Nutationskrümmungen. Es ist hier nicht der Ort, näher auf diese Erscheinung einzugehen, und verweise ich desswegen auf den betreffenden Abschnitt in Sachs' Lehrbuch pag. 564. Der Fehler, welcher sich aus einer Nutation entwickelt, ist stets ein zweifacher. Erstens erscheint der Zuwachs, so lange die Nutation in Steigerung begriffen, zu gering und zweitens erscheint der Zuwachs zu gross, wenn das gekrümmte Glied sich wieder gerade streckt. So würde man oft der Wirklichkeit entgegengesetzte Resultate bekommen, wenn man den Stand des Zeigers notiren wollte, ohne die Nutation zu berücksichtigen. Leider lässt sich die durch dieselbe veranlasste Abweichung nicht mit einer wünschenswerthen Genauigkeit in Rechnung bringen; die Krümmung ist fast immer irregulär, dabei stetig sich verändernd und liegt selten genau in einer Ebene,

so dass an eine Correctur durch Messung nicht zu denken ist; man muss sich begnügen, im Journal das Factum und nach Schätzung den Grad zu notiren, um bei späteren Vergleichungen orientirt zu sein und scheinbare Widersprüche der Resultate auf ihren wirklichen Ursprung zurückzuführen.

Nothwendig ist es ferner, dass man bei den Beobachtungen mit dem untersten Internodium des betreffenden Sprosses anfängt, bei Pflanzen, die aus Samen gezogen sind, mit dem hypokotylen Gliede, und die Beobachtung desselben fortsetzt, bis es ausgewachsen ist. Würde man anfangen, mit dem nächsthöheren Gliede zu experimentiren, noch ehe das darunter befindliche völlig ausgewachsen ist, so erhielte man ein gemischtes Resultat, das ohne wissenschaftlichen Werth wäre, da möglicher Weise die Wachsthumsbewegung des einen Gliedes beschleunigt, die des andern retardirt ist.*)

Hat man eine Beobachtungsreihe, z. B. die halbstündlichen Beobachtungen eines Tages gewonnen, so bringt man dieselbe durch graphische Darstellung auf Coordinatenpapier zur Anschauung, und zwar so, dass man die Zeittheile als Abscissen, die Differenzen der Bogengrade, welche den Zuwachsen entsprechen, als Ordinaten aufträgt: die so entstehende Curve ist ein entsprechendes Bild der Wachthumsintensität während eines Tages. Einige solcher Curven sind auf der Tafel mitgetheilt.

4. Resultate.

Ein Internodium — dasselbe gilt auch für Blätter —, welches im Begriff steht, sich zu strecken, zeigt bis zu dem Momente, wo es ausgewachsen ist, eine stetige Aenderung seiner Wachsthumsgeschwindigkeit. Die erste, wiederkehrende Gesetzmässigkeit der Intensitätsänderung ist die, dass das Wachsthum langsam anhebt, allmählig schneller wird, ein Maximum erreicht, dann rasch abnimmt und bis auf den Nullpunkt sinkt.**) Diese Art des Wachsthums, welche man erkennt, wenn man die Länge eines Internodiums in grösseren Zeiträumen vergleicht, hat sich bei allen untersuchten Pflanzen mit Regelmässigkeit gezeigt; würden wir eine derartige Beobachtung in der oben angegebenen Weise uns graphisch dargestellt denken, so erhielten wir eine Curve mit einem längeren, aufsteigenden und einem kürzeren, fallenden Ast. Diesen Ausdruck für die Wachsthumsbewegung erhalten wir, wenn wir

*) Freilich erhält man in allen Fällen nur ein gemischtes Resultat, da jede einzelne Zellschicht, wenn man sich das Glied in Querschnitte zerlegt denkt, einen specifischen Wachsthumscoëfficienten besitzt.

**) Vergl. Sachs in Pringsheim's Jahrb. II. pag. 345 u. 348.

etwa in 8 oder 12 Stunden einmal beobachten; ganz andere Resultate stellen sich bei zweistündlichen, stündlichen, halbstündlichen und kürzeren Beobachtungsperioden heraus.

Vergegenwärtigen wir uns zunächst, wie wir bei dieser Beobachtungsmethode, nämlich von Zeitabschnitt zu Zeitabschnitt den Zuwachs zu messen, auf die Wachsthumsbewegung selbst schliessen können. Beobachten wir stündlich, so giebt uns jede Ablesung an dem Zeiger des auxanometrischen Apparates das Durchschnittsresultat der innerhalb einer Stunde vorgekommenen Intensitätsänderungen; beobachten wir viertelstündlich, so bekommen wir wiederum ein Durchschnittsresultat, zusammengesetzt aus den Schwankungen innerhalb einer Viertelstunde; beobachten wir von 5 zu 5 Minuten, so können wir folgerichtig die erhaltenen Resultate auch nur für Durchschnittswerthe erkennen. Die eigentliche Wachsthumsbewegung ist demnach mit dieser Methode, die nicht gut kürzere Beobachtungsperioden zulässt, nicht direct wahrzunehmen; wir werden nur darauf hingewiesen, dass dieselbe wahrscheinlich eine ruckweise sei. In unserem Thema haben wir es nur mit der Durchschnittsgeschwindigkeit in kurzen Zeittheilen zu thun.

Folgende Sätze ergaben sich bei diesen Untersuchungen:

1. Die Durchschnittsgeschwindigkeit eines wachsenden Pflanzensprosses in verschiedenen, gleichen Zeiträumen ist eine sehr verschiedene.

2. Beobachtet man eine längere Zeit hindurch, etwa 12 Stunden, und zwar in bestimmten Abschnitten, etwa halbstündlich, das Wachsthum einer Pflanze, so ergiebt sich, dass die Geschwindigkeit des Wachthums nicht etwa in der einen halben Stunde sich steigert, in der nächsten retardirt, darauf wieder beschleunigt wird u. s. w., sondern in der Regel steigt dieselbe gleichförmig mehrere Zeiträume hindurch bis zu einem Maximum und fällt dann in ähnlich continuirlicher Weise auf ein Minimum, von wo aus es wieder steigt.

3. Es zeigt sich, dass an einem Tage bei derselben Pflanze, je nachdem man grössere oder kleinere Zeiträume wählt, man ganz verschiedene Maxima und Minima erhält; es gelingt jedoch, durch Vergleichung vieler Beobachtungen gewisse Maxima und Minima zu finden, die mit einer gewissen Constanz zu denselben Stunden an verschiedenen Tagen wiederkehren.

4. Dadurch stellt sich eine Periodicität in der Wachsthumsintensität heraus, die schon von Sachs erkannt wurde. (Vgl. Lehrb. pag. 631.) Höchst selten pflegten nach meinen Ermittelun-

gen die periodischen Maxima und Minima ganz genau auf dieselben Tagesstunden zu fallen. Bei halbstündlichen Beobachtungen erhält man durchgehends, kleine Schwankungen abgerechnet, ein constantes Morgenminimum vor 8 Uhr; zwischen 8 und 10 Uhr ein Vormittagsmaximum; ein Mittagsminimum zwischen 11½ und 12½. Ein Maximum kommt zwischen 1 und 2; in den Nachmittagsstunden sind die Schwankungen unregelmässiger; doch folgt auf vorhergegangenes Minimum ein sehr constantes Maximum zwischen 5 und 6 Uhr, worauf sich die Intensität gegen 8 Uhr wieder verringert.

5. Während die periodisch wiederkehrenden Schwankungen der Wachsthumsintensität nicht genau an verschiedenen Tagen dieselben Stunden inne halten, so zeigen zwei Pflanzen, gleichzeitig an verschiedenen Apparaten beobachtet, an demselben Tage eine so grosse Uebereinstimmung nicht nur der grösseren periodischen, sondern auch der kleineren unregelmässigen Schwankungen, dass wir Grund zu der Annahme haben, diese Uebereinstimmung sei eine normale und die vorkommenden Abweichungen in individuellen Störungen begründet.

Suchen wir diese allgemeinen Resultate der Untersuchung an ein paar Beispielen zu erläutern.

Bei Pflanzen, die einen hinreichenden Grad der Schnelligkeit des Wachsthums besitzen, ist es zu empfehlen, mindestens von Viertelstunde zu Viertelstunde Beobachtungen zu machen; bei der Methode, die Zuwachse in Gestalt von Bogengraden zu notiren, ist man dann im Stande, nicht nur die viertelstündlichen, sondern auch die halbstündlichen, stündlichen, zweistündlichen u. s. w. Differenzen zu berechnen. Werfen wir einen Blick auf die auf unserer Tafel dargestellten Wachsthumscurven 1. bis 3.

Es sind A und B die graphisch dargestellten Intensitätsschwankungen zweier gleichzeitig beobachteten Internodien von *Phaseolus vulgaris* vom 20. Juni 1870. Fig. 1. stellt uns die Curven zweistündiger Differenz dar; wir sehen daran scharf ausgeprägt das Vormittagsmaximum, das Mittagsminimum, das Nachmittagsmaximum und das Minimum gegen Abend. Die steigenden und sinkenden Aeste der Curve verlaufen geradlinig; zu bemerken ist, dass auf der ganzen Tafel die Abschnitte der Ordinaten Zehntel-Bogengraden des Apparates, diejenigen der Abscissen Viertelstunden entsprechen.

In Fig. 2. sehen wir die Curven stündlicher Differenz derselben Beobachtungsreihe; auch hier treten das Vormittagsmaximum, das Mittagsminimum, das Nachmittagsmaximum und das Abendminimum deutlich hervor; zu beachten sind hier jedoch die sich bereits

geltend machenden kleineren Schwankungen, sowie der Umstand, dass die Scheitel des Nachmittagsmaximum der beiden Curven A und B nicht genau übereinander fallen.

Gehen wir endlich zu Fig. 3 über, so haben wir die viertelstündlichen Differenzen aufgetragen. Auch aus dieser Linie kann man unschwer die in Fig. 1. und 2. klar ausgesprochene Periode herauslesen; daneben zeigen die Curven A und B eine Menge meist spitziger Zacken, welche auch wiederum der Mehrzahl nach zeitlich correspondiren, in der Region des Nachmittagsmaximums jedoch einige erhebliche Abweichungen zeigen. Dennoch verräth sich auch in dieser Abweichungen enthaltenden Region eine unverkennbare Uebereinstimmung. Auffallend sind hier schon die bei schnell wachsenden Individuen stets vorkommenden, schroffen Wechsel der Intensität, wodurch die Curven ganz spitze, oft nadelförmige Zacken und daneben tiefe Einschnitte erhalten.

Diese Erscheinung tritt noch deutlicher hervor in Fig. 4. Es sind dieselben Internodien derselben Pflanzen, wie in Fig. 1. bis 3, aber am nächstfolgenden Tage, am 21. Juni, beobachtet, wo sie noch fortwuchsen Hier haben wir ein Beispiel vom Einfluss der Nutation, welche bei der Pflanze B gegen 8 Uhr eintrat. Die betreffende Stelle wurde auf der Curve durch Punkte angedeutet. Uebrigens war die dadurch verursachte Störung in diesem Falle nicht sehr erheblich. — Die Pflanze B hörte um 1 Uhr plötzlich zu wachsen auf, das Internodium hatte seine volle Länge erreicht. Es ward nun am Nachmittage das nächst höhere Internodium zum Versuche eingestellt und es ergab sich eine mit A sehr gleich laufende Curve, bis dann gegen 7 Uhr eine sehr heftige Nutation diese Uebereinstimmung in arger Weise störte.

Fig. 5. zeigt noch ein Beispiel übereinstimmenden Wachsthums zweier Internodien von *Phaseolus*. Die Beobachtung ward am 12. Juli gemacht. Gerade dieser Fall ist ein Paradigma dafür, wie man in den anscheinend nicht harmonirenden Stücken die Uebereinstimmung herauszulesen vermag. So zeigen die beiden Curven ein Maximum zwischen 10 und 12 Uhr; das der Curve A ist jedoch zweispitzig, das von B nur einspitzig; in der Abstutzung der Spitze von B sieht man aber deutlich die Tendenz zu einer A entsprechenden Schwankung der Intensität.

Fig. 6., am 6. Juli beobachtet, stellt die Resultate des Wachsthums zweier abgeschnittenen Sprosse von *Clematis Viticella* dar. Dieselben waren je in eine Flasche mit Wasser gestellt und, um dem Gewichte des Apparates Widerstand zu leisten, durch einen Kork im Halse der Flasche festgeklammert, doch so, dass die Ge-

webe keine zu starke Pressung erlitten; zur Controlle, dass die Sprosse nicht durch das Gewicht hinaufgezogen wurden, ward an geeigneter Stelle eine Marke mit Tinte aufgetragen. Die Uebereinstimmung ist auch in diesem Falle evident und traten namentlich die Maxima des Vor- und Nachmittags und das Mittagsminimum sehr schön hervor. Zugleich liefert der Fall den Beweis, dass die hier abgehandelten Schwankungen der Wachsthumsintensität von der Wurzelkraft unabhängig sind.

Um dies darzuthun, ist Fig. 7. noch geeigneter. A stellt hier das hypokotyle Glied einer Keimpflanze von *Ricinus communis*, B einen Spross von *Clematis*, wie in Fig. 6., dar. Auch hier ist der Verlauf der Curven ein im Wesentlichen übereinstimmender, und zwar war A eine bewurzelte Pflanze, B ein abgeschnittener Spross aus einer andern, im Systeme weit entfernt stehenden Gattung.

Diese Beispiele mögen für unsere Aufgabe genügen; aus der Betrachtung der einzelnen Curven wird sich leicht ein Verständniss der hier in Rede stehenden Verhältnisse ergeben, welche mit Worten auszumalen schwierig und wenig anschaulich sein würde. Wir erkennen durchgehends die grosse Uebereinstimmung, selbst in kurzen Zeiträumen, in der gleichzeitigen Wachsthumsintensität zweier verschiedener Gewächse. Ob die zur Beobachtung dienenden Pflanzen denselben oder verschiedenen Gattungen angehören, scheint durchaus unwesentlich zu sein; es hat sich thatsächlich in dieser Hinsicht niemals eine Verschiedenheit gezeigt.

An dieser Stelle mögen in der Kürze einige Versuche Erwähnung finden, welche ich über den Einfluss von Temperaturschwankungen anstellte, die jedoch nicht zahlreich genug wiederholt wurden, um danach ein Gesetz mit Bestimmtheit auszusprechen. Die Versuchspflanzen *(Phaseolus)* wurden in einen Heizapparat gestellt und die Erde auf einen bestimmten Grad langsam erwärmt. Dieselben zeigten, von 19° auf 23° gebracht und auf dieser Temperaturhöhe erhalten, im Allgemeinen eine gesteigerte Wachsthumsintensität; die Schwankungen zeigten sich jedoch in analoger Weise. Kleinere Temperaturänderungen von 1 bis 2° waren durch den Apparat gar nicht wahrzunehmen. Ward dagegen der Erdboden plötzlich um mehrere, z. B. 6 Grade, abgekühlt, was ich durch Uebergiessen mit kaltem Wasser bewerkstelligte, so hörte die Pflanze momentan ganz zu wachsen auf, fing damit jedoch nach Verlauf einiger Zeit wieder an und wuchs nun bei dieser Temperatur fort, wenngleich viel langsamer.

5. Tabellen der durch die Beobachtung gewonnenen Zahlen als Belege für die auf der Tafel mitgetheilten Curven.

Fig. 1. bis 3. sind Internodien von *Phaseolus vulgaris*, beobachtet am 20. Juni 1870, Morgens von 8½ Uhr ab. Die mit Sternen versehenen Differenzen sind viertelstündlich berechnet.

A.

Zeit	Bogen	Diff.	Temperatur und Bemerkungen
8½	21,9		19°
8¾	25,2	3,3	
9	28,4	3,2	
9¼	30,8	2,4	
9½	33,3	2,5	
9¾	36,6	3,3	
10	39,5	2,9	19,°3
10¼	42,1	2,6	
11	51,4	3,1 *	
11½	54,7	1,6 *	
12	57,6	1,5 *	
12½	60,6	1,5 *	20°
12¾	61,5	0,9	
1	62,5	1,0	
2	70,5	2,0 *	Hier wird der Zeiger eingestellt auf 20,6.
	20,6		
4	57,0		20°
4¼	62,6	5,6	
4½	68,5	5,9	
4¾	73,9	5,4	
5	80,5	6,6	
5¼	85,0	4,5	Eingestellt auf 18,9.
5½	22,5	3,5	
5¾	26,8	4,4	
6	32,0	5,2	19,°5
6¼	37,0	5,0	
6½	42,4	5,4	
6¾	47,6	5,2	
7	52,5	4,9	
7½	61,0	4,2 *	
8	69,0	4,0 *	19°
8½	75,3	3,15 *	
8¾	78,0	3,7	

B.

			Temperatur wie bei A.,
8½	3,6		
8¾	4,7	1,1	
9	5,6	0,9	
9¼	6,2	0,6	
9½	6,6	0,4	
9¾	7,3	0,7	

Zeit	Bogen	Diff.	Temperatur und Bemerkungen
10	7,8	0,5	
10¼	8,2	0,4	
11	9,7	0,5 *	
11½	10,2	0,25 *	
12	11,0	0,4 *	
12½	11,5	0,25 *	
12¾	11,6	0,1	
1	11,7	0,1	
2	14,3	0,6 *	
4	27,4		
4¼	29,4	2,0	
4½	31,7	2,3	
4¾	33,7	2,0	
5	35,3	1,6	
5¼	37,0	1,7	
5½	39,0	2,0	
5¾	41,4	2,4	
6	44,0	2,6	
6¼	46,9	2,9	
6½	48,9	2,0	
6¾	51,5	2,6	
7	54,0	2,5	
7½	58,5	2,2 *	
8	61,9	1,6 *	
8½	12,5	0,7 *	Eingestellt auf 11°
8¾	14,5	2,0	

Fig. 4., wie die vorige, am 21. Juni.

A.

5Morg.	36,8		18,°5
5¼	38,7	1,9	
5½	42,2	3,5	
5¾	48,9	6,7	
6	54,2	5,3	
6¼	59,5	5,3	
6½	65,0	5,5	
6¾	71,5	6,5	
7	77,9	6,4	19°
7¼	81,5	3,6	Eingestellt auf 18,°5
7¾	22,9	2,2 *	
8	27,3	4,4 *	
8½	35,8	4,3	
8¾	41,4	5,6	
9	49,1	7,7	
9¼	57,8	8,7	
9½	64,0	6,2	
9¾	70,4	6,4	
10	75,3	4,9	19°
10¼	80,3	5,0	Eingestellt auf 18°
10½	22,1	4,1	
10¾	25,5	3,4	
11	29,4	3,9	
11¼	34,0	4,6	

Zeit	Bogen	Diff.	Temperatur und Bemerkungen
$11^1/_2$	38,6	4,6	
$11^3/_4$	43,5	4,9	
12	48,6	5,1	19°
$12^1/_4$	53,0	4,4	
$12^1/_2$	57,6	4,6	
$12^3/_4$	63,0	5,4	
1	68,0	5,0	
$4^1/_2$	70,4		Eingestellt auf 18°
$4^3/_4$	76,0	5,6	19,°7
5	80,4	4,4	
$5^1/_4$	21,4	1,7	Eingestellt auf 19,°7
$5^1/_2$	24,1	2,7	
$5^3/_4$	28,3	6,2	
6	32,3	4,0	
$6^1/_4$	37,0	4,7	
$6^1/_2$	42,1	5,1	19,°5
$6^3/_4$	46,5	4,4	
7	52,2	5,7	
$7^1/_4$	58,2	6,0	
$7^1/_2$	63,0	4,8	
$7^3/_4$	68,3	5,3	
8	74,1	5,8	Eingestellt auf 19°
$8^1/_4$	21,4	2,4	19°
$8^1/_2$	24,6	3,2	
$8^3/_4$	28,5	3,9	

B.

			Temperatur, wie A.
5	38,7		
$5^1/_4$	40,0	1,3	
$5^1/_2$	41,6	1,6	
$5^3/_4$	43,2	1,6	
6	44,5	1,3	
$6^1/_4$	46,3	1,8	
$6^1/_2$	48,3	2,0	
$6^3/_4$	50,4	2,1	
7	52,5	2,1	
$7^1/_4$	53,8	1,3	Eingestellt auf 2,°2
$7^3/_4$	2,5		Nutationskrümmung.
8	2,0		
$8^1/_2$	5,4	1,8 *	
$8^3/_4$	9,7	4,3	
9	15,4	5,7	
$9^1/_4$	19,7	4,3	
$9^1/_2$	23,0	3,3	
$9^3/_4$	25,3	2,3	
10	27,3	2,0	
$10^1/_4$	29,5	2,2	
$10^1/_2$	31,7	2,2	
$10^3/_4$	33,8	2,1	
11	36,0	2,2	
$11^1/_4$	38,0	2,0	
$11^1/_2$	39,7	1,7	
$11^3/_4$	41,4	1,7	
12	43,0	1,6	

Zeit	Bogen	Diff.	Temperatur und Bemerkungen
$12^1/_4$	44,2	1,2	
$12^1/_2$	45,7	1,5	
$12^3/_4$	47,4	1,7	
1	48,6	1,2	
$4^1/_2$	23,4		Eingestellt auf 2° und zwar ein neues
$4^3/_4$	24,7	1,3	Internodium.
5	25,8	1,1	
$5^1/_4$	26,7	0,9	
$5^1/_2$	27,7	1,0	
$5^3/_4$	30,3	2,6	
6	31,5	1,2	
$6^1/_4$	33,3	1,8	
$6^1/_2$	34,4	1,1	
$6^3/_4$	35,5	1,1	
7	37,8	0,3	
$7^1/_4$	35,6		Starke Nutationskrümmung.
$7^1/_2$	35,8	0,2	
$7^3/_4$	37,6	1,8	
8	41,1	3,5	
$8^1/_4$	45,2	4,1	
$8^1/_2$	48,7	3,4	
$8^3/_4$	51,6	3,1	

Fig. 5. Zwei *Phaseolus* vom 12. Juli.

A.

$8^1/_2$	21,9		21°,2
9	23,2	1,3	
$9^1/_2$	25,8	2,6	
10	29,7	3,9	
$10^1/_2$	34,8	5,1	
11	39,0	4,2	
$11^1/_2$	43,5	4,5	
12	48,8	5,3	22°
$12^1/_2$	54,0	5,2	Eingestellt auf 18°
2	28,5	3,5*	
3	38,7	5,1*	22°
$3^1/_2$	41,5	2,8	
4	44,8	3,3	
$4^1/_2$	49,5	4,7	
$5^1/_2$	61,0	5,7*	22°,5
6	22,5	3,4	Eingestellt auf 19°,1
$6^1/_2$	26,4	3,9	
7	30,0	3,6	21°

B.

$8^1/_2$	7,9		Temperatur, wie A.
9	9,0	1,1	
$9^1/_2$	12,5	3,5	
10	19,2	6,7	
$10^1/_2$	25,3	6,1	
11	30,6	5,3	
$11^1/_2$	36,5	5,9	

Zeit	Bogen	Diff.	Temperatur und Bemerkungen
12	42,0	5,5	
12½	47,8	5,8	Eingestellt auf 2°,7
2	17,4	5,1*	
3	30,0	6,3*	
3½	33,7	3,7	
4	39,1	5,4	
4½	44,3	5,2	
5½	55,7	5,7*	Eingestellt auf 3°,3
6	7,0	3,7	
6½	11,2	4,2	
7	15,5	4,3	

Fig. 6. Zwei Sprosse von *Clematis Viticella* am 6. Juli.

A.

8	20,8		17°,5
8½	22,5	1,7	
9	24,2	1,7	18°
9½	26,4	2,2	
10	27,9	1,5	
10½	28,7	0,8	
11	29,5	0,8	
11½	29,8	0,3	
12	30,3	0,5	18°,4
12½	30,5	0,2	
1	30,9	0,4	
2	31,6	0,4*	18°,6
3	25,3	3,0*	Eingestellt auf 19°,3
3½	29,0	3,7	
3¾	30,9		

B.

8	7,5		Temperatur, wie A.
8½	8,5	1,0	
9	10,9	2,4	
9½	14,5	3,7	
10	16,7	2,2	
10½	17,5	0,8	
11	18,1	0,6	
11½	18,6	0,5	
12	19,0	0,4	
12½	19,2	0,2	
1	19,6	0,4	
2	20,6	0,5*	Eingestellt auf 4°,7
3	10,0	2,6*	
3½	13,6	3,6	
3¾	15,3		

Fig. 7. A. ist hypokotyles Glied von *Ricinus communis*, B. Spross von *Clematis Viticella* am 1. Juli.

A.

8	19,3		15°,5
8½	22,7	3,4	

Zeit	Bogen	Diff.	Temperatur und Bemerkungen
9	25,5	2,8	
9½	28,8	3,3	
10	32,0	3,2	
12	43,2	2,8	
12½	46,4	3,2	16°
1	49,3	2,9	
2	55,2	2,95*	
3	61,0	2,9	
3½	64,0	3,0	
4	67,0	3,0	16°
4½	70,0	3,0	
5	72,7	2,7	
5½	75,7	3,0	
6	78,9	3,2	
6½	80,5	1,6	15°,5
			B.
8	35,0		Temperatur, wie A.
8½	35,5	0,5	
9	35,8	0,3	
9½	36,4	0,6	
10	36,8	0,4	
12	39,5	0,6	
12½	40,3	0,8	
1	40,8	0,5	
2	41,9	0,55	
3	43,5	0,8	
3½	44,5	1,0	
4	45,5	1,0	
4½	46,5	1,0	
5	47,2	0,7	
5½	48,2	1,0	
6	49,4	1,2	
6½	50,0	0,6	

6. Schlussbemerkung.

Wir haben im Vorstehenden gesehen, wie die Bewegung des Wachsthums, welches wir als den Ausdruck complicirter histologischer und physiologischer Processe anzusehen haben, eigenartige Intensitätsschwankungen besitzt. Dieselben lassen eine entschiedene, bald mehr, bald weniger deutlich hervortretende Periodicität erkennen und zeigen dazwischenliegende inconstante Variationen. In Betreff der letzteren war es von Wichtigkeit, nachzuweisen, dass dieselben gleichzeitig bei verschiedenen Pflanzen identisch erscheinen.

Was die Periodicität anlangt, so reiht sich dieselbe an eine Anzahl bereits früher im Pflanzenreiche entdeckter periodischer

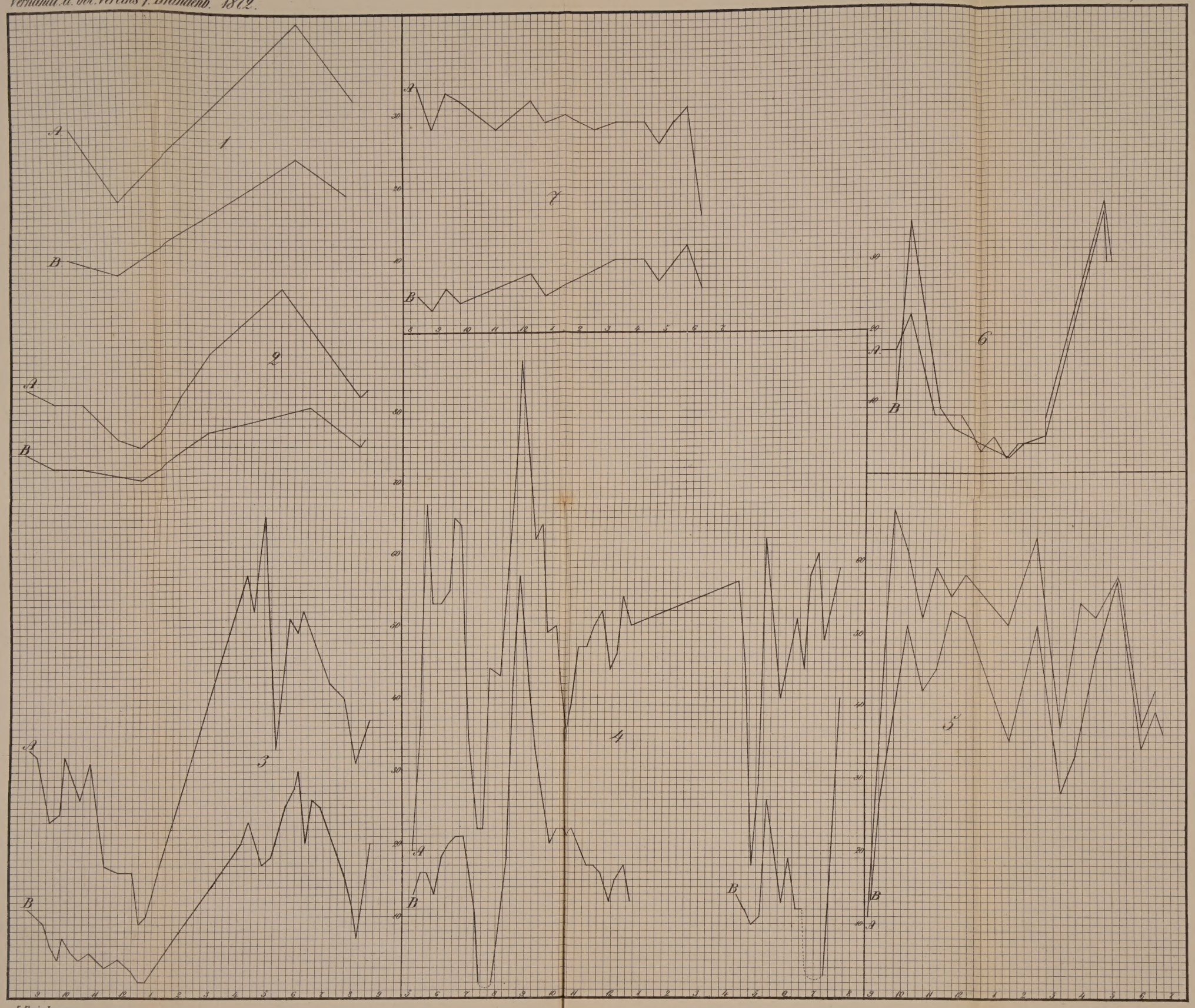
Erscheinungen an, namentlich an die Periodicität der Gewebespannung.*)

Es ist inzwischen eine Arbeit von Sachs**) erschienen, welche eingehend die Schwankungen der Wachsthumsintensität behandelt, wie sie unter dem Einflusse von Licht- und Wärmewirkungen sich vollziehen. Die Untersuchungen wurden mit vervollkommneten Apparaten und mit verfeinerter Beobachtungsmethode in's Werk gesetzt und bringen sehr schöne Resultate, welche vielfach geeignet sind, über die hier gemachten Angaben Licht zu verbreiten. Insofern behalten jedoch diese Mittheilungen ihre eigenartige Bedeutung, als sie wesentlich auf jene, in kleinen Zeiträumen spielenden Schwankungen gerichtet sind, welche Sachs als „stossweise" bezeichnet, und als sie die Gleichsinnigkeit dieser Schwankungen bei verschiedenen gleichzeitig beobachteten Gewächsen darzuthun sich bemühen. Der letztere Umstand weist auf eine ausserhalb liegende Ursache oder einen Complex von Ursachen hin, welcher diese Schwankungen inducirt; wenn wir finden, dass dieselben keiner derjenigen äusseren Bedingungen, von denen das Pflanzenwachsthum abhängig ist, wie dem Lichte, der Wärme, dem Wassergehalte der umgebenden Medien, einzeln entspricht, so ist dies nicht nur leicht erklärlich, sondern sogar nothwendig; denn jene Kräfte wirken weder einzeln für sich bestimmend, noch stets in gleichem Sinne, sondern ihre Wirkungen können sich vielfach durchkreuzen und aufheben; es muss aber eine Resultante der genannten und anderer Kräfte geben, welcher wahrscheinlich die Schwankungen des Wachsthums entsprechen; und nur mit dieser Resultante, falls es möglich wäre, sie zu construiren, würden wir die Wachsthumscurve einer Pflanze direct vergleichen dürfen.

---

*) Sachs, Bot. Zeit. 1857. — Kraus, Bot. Zeit. 1867. — Millardet, Nouvelles recherches sur la periodicité de la tension. Strasbourg, 1869.

**) Sachs, Ueber den Einfluss der Lufttemperatur und des Tageslichts auf die stündlichen und täglichen Aenderungen des Längenwachsthums (Streckung) der Internodien. Aus den „Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg." Heft II. 1872.



J. Reinke gez.

W. A. Megn lith.